

**DISEÑO DE DOS SISTEMAS DE EXTRACCIÓN PARA HUMOS Y POLVOS EN
LA EMPRESA CRISTAR S.A.**

DAVID CARDONA PEREZ

1088319898

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

PEREIRA, RISARALDA

ENERO 2020

**DISEÑO DE DOS SISTEMAS DE EXTRACCIÓN PARA HUMOS Y POLVOS EN
LA EMPRESA CRISTAR S.A.**

DAVID CARDONA PEREZ

1088319898

**PRÁCTICA CONDUCENTE A TRABAJO DE GRADO
INGENIERÍA MECÁNICA**

DIRECTOR:

PhD. JOSÉ LUIS TRISTANCHO REYES

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

PEREIRA, RISARALDA

ENERO 2020

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	6
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
3. JUSTIFICACIÓN	8
4. OBJETIVOS	9
4.1 OBJETIVO GENERAL	9
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
5. REFERENCIAS NORMATIVAS	10
6. TÉRMINOS Y DEFINICIONES	12
7. GENERALIDADES	17
7.1 PLANEACIÓN	17
7.1.1 SISTEMA DE EXTRACCIÓN	17
7.2 SISTEMAS DE SEPARACIÓN	23
7.2.1 METODOS DE SEPARACIÓN	23
7.3 DISEÑO DE SISTEMAS DE EXTRACCIÓN DE HUMOS Y POLVO	28
7.3.1 PÉRDIDAS EN EL SISTEMA	29
7.3.2 SELECCIÓN DEL VENTILADOR	45
8. RECOMENDACIONES	48
9. CONCLUSIONES	48
10. BIBLIOGRAFÍA	49

TABLA DE ILUSTRACIONES

Figura 1. Estructura de trabajo Cristar S.A.S	13
Figura 2 Ciclón	15
Figura 3 Ventilador Centrifugo	15
Figura 4 Tubería cónica.....	19
Figura 5 Codos de 90° y 60°	19
Figura 6 Tees	20
Figura 7 Ventilador axial de aspas	21
Figura 8 Ventilador axial tubular.....	22
Figura 9 Ventilador centrífugo	23
Figura 10 Cámara de sedimentación	24
Figura 11 Ciclón	24
Figura 12 Filtros de tela.....	26
Figura 13 Rango velocidades de diseño (Ventilacion Industrial , 1992).....	29
Figura 14 Sistema de extracción de polvos	30
Figura 15 Tubería de 6 pulgadas comercial.....	31
Figura 16 Ducto de succión (AB).....	32
Figura 17 Longitudes equivalentes de accesorios (Ventilacion Industrial , 1992).....	33
Figura 18 Dimensiones de la campana	35
Figura 19 Dimensiones del ciclón	36
Figura 20 Dimensiones recomendadas para el ciclón (Ventilacion Industrial , 1992).....	37
Figura 21 Factor de perdidas en campanas (Ventilacion Industrial , 1992).....	38
Figura 22 Perdidas por fricción en la entrada de la campana	39
Figura 23 Longitud del cilindro interno	41
Figura 24 Factor de corrección para la densidad del aire	46
Figura 25 Ventilador centrifugo	47
Figura 26 Selección del ventilador	48

1. INTRODUCCIÓN

El bienestar laboral es una de las claves para conseguir un equipo productivo, motivado y comprometido con la empresa. Este a su vez no solo hace referencia a estar sanos de salud y no padecer enfermedades, sino también en un bienestar emocional que haga sentir a las personas que están contentos con lo que hacen.

Por esta razón, se ha identificado que la empresa **CRISTAR S.A.S**, requiere la implementación de dos sistemas de extracción para humos y polvos, dado que las lesiones por inhalación de estos podrían ocasionar enfermedades de tipo profesional. Debido a esto, en el área de cambios de referencia se ha identificado una oportunidad de mejora en cuanto al proceso de armado de anillos y quemado de equipos, con el fin de mejorar la calidad del ambiente de trabajo donde se desarrollan dichas actividades.

La norma OSHA, reconoce que muchos de sus límites de exposición permisibles PEL, son obsoletos y a su vez inadecuados para garantizar la protección de la salud de los trabajadores, teniendo en cuenta que la mayoría de los límites permisibles de esta norma se emitieron después de la adopción de la Ley de Seguridad y Salud Ocupacional en 1970, y no han sido actualizadas desde entonces. Es por ello que, a partir de la experiencia industrial, desarrollos tecnológicos, datos científicos, entre otros, demuestran que estos límites no protegen lo suficiente la salud de los trabajadores, lo que conlleva a que las empresas utilicen mecanismos de protección a partir de la experiencia o políticas internas establecidas por el personal de estas.

Por lo tanto, OSHA ha establecido tablas donde se relacionan los límites regulatorios y permisibles, y a su vez enumeran los límites de concentración de aire, pero estas no incluyen anotaciones para la absorción o sensibilización de la piel. Los PEL obligatorios de OSHA en dichas tablas se encuentran vigentes, pero se recomienda a su vez que las empresas usen límites de exposición ocupacional alternativos, dado que las exposiciones de algunos de estos límites ocupacionales pueden ser peligrosos para los trabajadores, incluso cuando los niveles de exposición cumplen con los PEL relevantes.

Finalmente, se expone en el presente trabajo aquellas actividades o acciones que ayuden a mitigar estas enfermedades en los empleados e impactos ambientales a partir de la norma mencionada anteriormente la cual regula a partir del PEL los límites de exposición permisibles para garantizar la protección de la salud de los trabajadores.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La empresa CRISTAR S.A.S requiere implementar dos sistemas de extracción para humos y polvos en el área de cambios de referencia, ya que el humo y el polvo que sale como producto de los procesos tales como: mantenimiento del equipo de entrega y la fabricación del anillo refractario del FEEDER, podrían afectar la salud de los empleados y a su vez el medio ambiente, por lo tanto, se requiere el diseño e implementación de estos, con el fin de mitigar las posibles consecuencias que este proceso pueda ocasionar en la salud de los empleados.

3. JUSTIFICACIÓN

Con el fin de optar por medidas de mitigación y prevención para la problemática relacionada anteriormente, se requiere adecuar el área de trabajo de manera óptima para desarrollar los procesos de elaboración del anillo del FEEDER, adicional a esto ajustar el área de trabajo de manera óptima para el mantenimiento del equipo de entrega (cuchara, canal y deflector) y canalizar los humos y los polvos, para llevarlos a los respectivos depósitos finales.

Por ello, es importante ubicar diferentes estanterías con el fin de almacenar y realizar el proceso de secado de los anillos.

Esto teniendo en cuenta que la seguridad en el trabajo es uno de los aspectos más importantes de la actividad laboral, a partir de la aplicación de las medidas necesarias para evitar y/o minimizar los riesgos en el trabajo y a su vez promocionar la salud entre los trabajadores.

Finalmente, cabe resaltar que las empresas se encuentran en obligación de mejorar la seguridad y salud de sus empleados mediante la prevención de aquellos riesgos laborales que puedan presentarse producto de las funciones al interior de la empresa, evitando de esta manera que se produzcan accidentes laborales y enfermedades profesionales que puedan afectar la calidad de vida de los trabajadores y así mismo la afectación que producen estos procesos al medio ambiente.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar sistemas de extracción para el armado de los anillos del FEEDER y el mantenimiento del equipo de entrega (cuchara, canal y deflector).

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Calcular las dimensiones del sistema de acuerdo con las variables de operación y a las condiciones del lugar donde serán ubicados.
- Calcular las pérdidas por fricción en los sistemas de extracción.
- Seleccionar el ventilador adecuado para llevar a cabo la operación de los sistemas de extracción en el área de cambio de referencias de la empresa CRISTAR S.A.S

5. REFERENCIAS NORMATIVAS

- La norma ISO 45001 es aquella que se encarga de promover los requisitos necesarios para el correcto manejo e implementación de un Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo, a su vez permite a las empresas:
 - Controlar e identificar todos los riesgos relacionados con la salud y la seguridad de sus trabajadores.
 - Reducir la tasa de accidentes de cualquier tipo.
 - Cumplir con los requisitos legales.
 - Mejorar las operaciones internas de la empresa.
 - Reducir costos y mejorar la rentabilidad de la empresa.
 - Facilitar la integración con las normas ISO 14001 e ISO 9001. Esta integración proporcionará una máxima calidad y seguridad para los clientes, los trabajadores y la comunidad, lo que se traduce en una mayor eficiencia y una disminución de costos a medio y largo plazo.

Finalmente, dicha norma satisface los requisitos legales y a su vez propone una estructura con el fin de mejorar la gestión e integrar el Sistema de Gestión en la empresa.

- A partir de la Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 14001, capítulo 1 “Objeto y campo de aplicación” se establece que: “Esta Norma Internacional ayuda a una organización a lograr los resultados previstos de su sistema de gestión ambiental, con lo que aporta valor al medio ambiente, a la propia organización y a sus partes interesadas. En coherencia con la política ambiental de la organización, los resultados previstos de un sistema de gestión ambiental incluyen:
 - La mejora del desempeño ambiental;
 - El cumplimiento de los requisitos legales y otros requisitos;
 - El logro de los objetivos ambientales

Esta Norma Internacional es aplicable a cualquier organización, independientemente de su tamaño, tipo y naturaleza, y se aplica a los aspectos ambientales de sus actividades, productos y servicios que la organización determine que puede controlar o influir en ellos, considerando una perspectiva de ciclo de vida.

Esta Norma Internacional no establece criterios de desempeño ambiental específicos. Esta Norma Internacional se puede usar en su totalidad o en parte para mejorar sistemáticamente la gestión ambiental. Sin embargo, las declaraciones de conformidad con esta Norma Internacional no son aceptables a menos que todos los requisitos estén incorporados en el sistema de gestión ambiental de una organización, y que se cumplan sin exclusiones. (NORMA TÉCNICA COLOMBIANA, 2015)

- A partir de la resolución No. 2254 del 01 de noviembre de 2017 correspondiente al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, se adoptó la Política de Prevención y

Control de la Contaminación del Aire – PPCCA, la cual establece como objetivo “Impulsar la gestión de la calidad del aire en el corto, mediano y largo plazo, con el fin de alcanzar los niveles de calidad del aire adecuados para proteger la salud y el bienestar humano, en el marco del desarrollo sostenible. El objetivo 1 de esta Política trata acerca de “Regular los contaminantes de la atmósfera que pueden afectar la salud humana y el bienestar de la población, fijando niveles adecuados para proteger la salud de la población y el bienestar humano.”

Que de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, se considera que el aire limpio es un requisito básico de la salud y el bienestar humano. Sin embargo, su contaminación sigue representando una amenaza importante para la salud en todo el mundo. }

Que en este contexto, se requiere definir una nueva norma de calidad del aire que incorpore un ajuste progresivo de los niveles máximos permisibles de contaminantes, incluir nuevos contaminantes y definir elementos técnicos integrales para mejorar la gestión de la calidad del aire. (MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, 2017)

6. TÉRMINOS Y DEFINICIONES

VIDRIO:

El vidrio es un material inorgánico duro, frágil, transparente y amorfo que se encuentra en la naturaleza, aunque también puede ser producido por el ser humano. El vidrio artificial se usa para hacer ventanas, lentes, botellas y una gran variedad de productos.

El vidrio se obtiene a temperaturas entre 1500 -1600 °C a partir de arena de sílice ~70 % (SiO_2), carbonato de sodio ~14% (Na_2CO_3) y caliza ~16% (CaCO_3). Además, contiene en parte de la mezcla Alúmina ~4% (Al_2O_3) y vidrio reciclado que abarata los costos de producción.

El término "cristal" es utilizado muy frecuentemente como sinónimo de vidrio, aunque es incorrecto en el ámbito científico debido a que el vidrio es un sólido amorfo (sus moléculas están dispuestas de forma irregular) y no un sólido cristalino. (ECOLOGIAHOY, 2019)

CRISTAR O-I:

Planta de Owens Illinois ubicada en la ciudad de Guadalajara de Buga, Valle del Cauca, Colombia; dedicada a la producción de obras de vidrio para la mesa, es decir, vasos, jarras, platos, ensaladeras, copas, entre otros. Cristar posee más de 300 moldes diferentes para realizar las obras de vidrio antes mencionadas en máquinas de equipos variables que son rotativas, dichas máquinas pueden ser prensas o Hardford – 28.

Cristar cuenta con ocho líneas de producción llamadas FMU (Unidad flexible de manufactura), de las cuales cinco FMU cuentan con formadoras Hardford 28 y otras tres con formadoras prensa.

La planta tiene la capacidad de producir diariamente entre 185 y 190 toneladas de vidrio y sus máquinas trabajan con una eficiencia global de aproximadamente entre un 95% y 98%, respecto a el vidrio.

Cristar es dueño del 80% del mercado de cristalería colombiano, pero solo necesita un 30% de su capacidad para suplirlo, el otro 70% de su producción es para exportar a más de 30 países según las necesidades del cliente. Cuenta con una ubicación estratégica pues está a solo 118 kilómetros del muelle de Buenaventura, esto abarata mucho los costos en fletes nacionales.

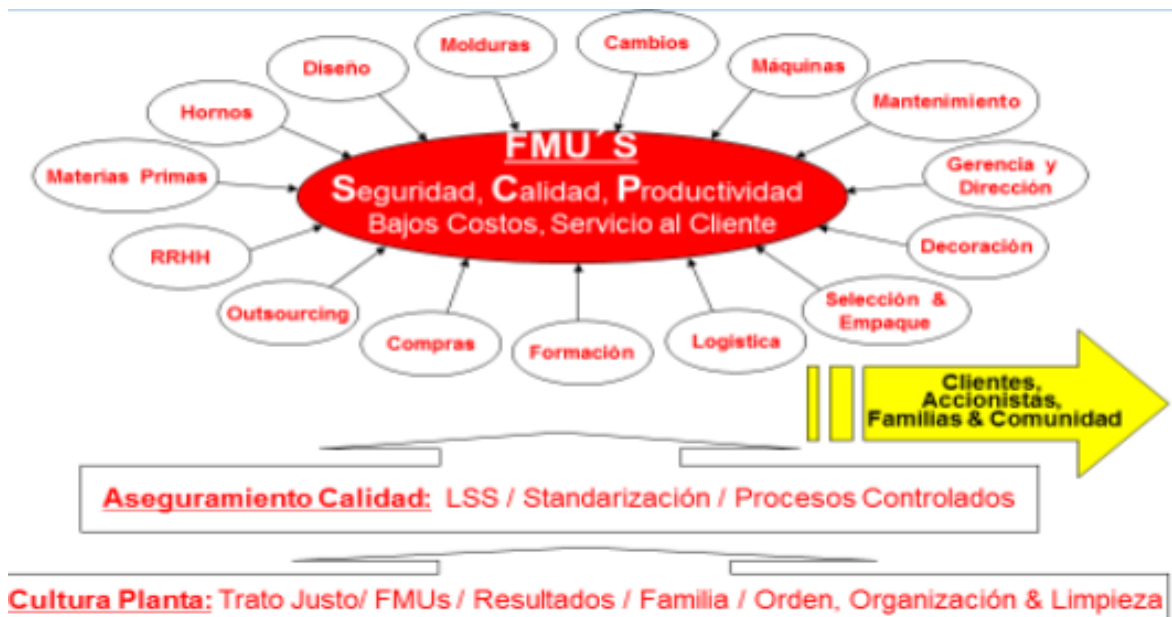


Figura 1. Estructura de trabajo Cristar S.A.S

La imagen define la forma de trabajo de Cristar en la cual se considera que todas las áreas de la empresa son áreas de servicio para un solo cliente, las FMU. Todos deben de trabajar para que este cliente este satisfecho de manera completa y así la eficiencia de la planta no se vea afectada.

Cristar en la actualidad cuenta con un direccionamiento estratégico de calidad el cual comprende básicamente tres ítems. Las directrices de la política de calidad, las reglas de calidad y los objetivos estratégicos de la planta. (CRISTAR, s.f.)

MANTENIMIENTO:

Se entiende por aquel conjunto de recursos físicos (tierra, capital, equipos), recursos humanos, tecnología e información, que acoplados buscan mejorar la eficiencia del sistema de producción disminuyendo los paros, aumentando la confiabilidad del equipo y garantizando la seguridad y un nivel de costos rentables; todo ello dentro del marco del desarrollo propio de la empresa y del país.

Teniendo en cuenta lo dicho anteriormente se puede puntualizar que:

- El mantenimiento no es una actividad estática que se planee y se ejecute de manera indefinida, por el contrario, es una actividad dinámica que permanentemente amerita revisiones, cambios y mejoras.
- El mantenimiento es inherente a la producción.
- Es transversal a todas las dependencias de una compañía. (MONTAÑA, 2016)

ANILLO DEL FEEDER:

Elemento refractario de diferentes tamaños (se asemeja a un embudo), el cual se instala a la salida del feeder (alimentador) para ayudar a formar la gota de vidrio, teniendo en cuenta que se cambia dependiendo de la referencia que se va a fabricar.

OSHA:

Son las siglas con las cuales se denomina abreviadamente a la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional de los Estados Unidos, una delegación que responde y depende en materia de gestión al Departamento de Trabajo de los Estados Unidos y cuya principal misión es velar por el cumplimiento de las leyes que hacen a la seguridad y a la salud en los ámbitos laborales. Es decir, es el organismo encargado de controlar que cualquier trabajador se desempeñe en su trabajo con un marco saludable y seguro. (DEFINICIÓN ABC, s.f.)

PEL:

Se refiere a la máxima concentración de aire contaminante al que un trabajador se puede exponer de forma repetida sin desarrollar efectos adversos y se encuentran registrados en el código federal 29CFR 1910.1000. (SURA, s.f.)

EQUIPO DE ENTREGA (CUCHARA, CANAL Y DEFLECTOR):

Elementos variables que permiten transportar el vidrio en forma de gota de manera controlada desde el feeder hasta la formadora.

SISTEMAS DE EXTRACCIÓN:

Es un conjunto de elementos dispuestos convenientemente, con la finalidad de captar en su mismo punto de generación o emisión, los contaminantes químicos presentes en una actividad laboral. (CARM, s.f.)

DETECTOR DE GASES MÚLTIPLES:

Es un dispositivo capaz de detectar la presencia de diferentes gases, este a su vez es utilizado como un sistema de seguridad, al detectar fugas de gases en la zona de trabajo para evitar riesgos provocados por concentraciones de gases fuera de lo normal.

Este tipo de dispositivos son de vital importancia para las empresas, dado que pueden identificar la presencia de combustibles, gases inflamables, gases tóxicos, deficiencia de oxígeno u otros gases, entre otros. (TECHNOMETRICA, s.f.)

CICLÓN:

El ciclón es esencialmente una cámara de sedimentación en que la aceleración gravitacional se sustituye con la aceleración centrífuga como se muestra en la siguiente imagen:

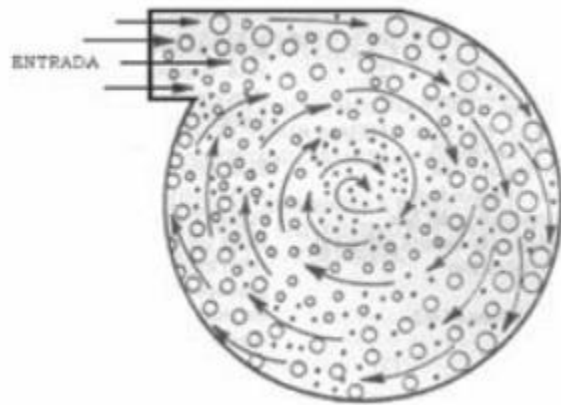


Figura 2 Ciclón

Los ciclones hacen parte de uno de los medios menos costosos de recolección de polvo, tanto desde el punto de vista de operación como de la inversión, por otra parte, se puede definir como aquellos dispositivos para separar partículas sólidas, las cuales son arrastradas por una corriente gaseosa.

VENTILADOR CENTRIFUGO:

Es una máquina que está compuesta por alabes giratorios conectados a un rotor que entrega energía mecánica para mantener un flujo constante de gas. Los ventiladores hacen parte del grupo de máquinas hidráulicas ya que son responsables de transformar el trabajo mecánico en energía de fluido o viceversa.

Por otra parte, dentro de las diferentes definiciones se puede decir que es una máquina de fluido capaz de comprimir gases a presiones muy bajas mediante el giro de un rodete con aspas, este tipo de ventilador succiona el gas por el centro paralelo al eje del rodete y lo expulsa por los alabes formando un ángulo de 90° con respecto al eje. (ALEJANDRO, 2017)

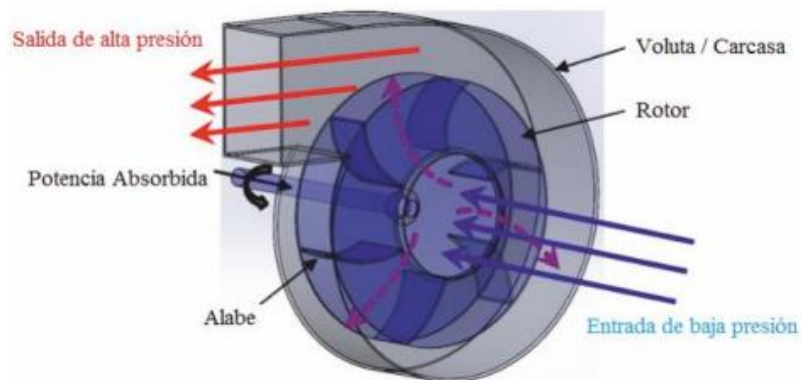


Figura 3 Ventilador Centrifugo

SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL:

La seguridad y salud ocupacional hace referencia a una multidisciplina en asuntos de protección, seguridad, salud y bienestar de las personas al interior de la Organización. Lo que permite a su vez fomentar un ambiente de trabajo seguro y saludable, incluye además protección al personal, familiares, empleadores, entre otros actores involucrados.

MEDIO AMBIENTE

El medio ambiente hace referencia a el espacio en que se desarrolla la vida de los seres vivos y a su vez permite la interacción de estos. Cabe resaltar que este sistema se encuentra conformado por elementos que engloba la naturaleza, la vida, los elementos artificiales, la sociedad y la cultura. (SIGNIFICADOS, s.f.)

7. GENERALIDADES

7.1 PLANEACIÓN

Para el diseño de los sistemas de extracción de humos y polvos, se plantean las siguientes etapas:

- Identificación de la necesidad
- Planteamiento del problema
- Recolección de datos
- Diseño de los sistemas de extracción

Para ello se toma como referencia el trabajo de grado “Diseño y construcción de un sistema de extracción, separación y recolección del polvillo de piedras trituradas para la empresa Corpisos S.A”, etapas que se trabajan en conjunto de la siguiente manera.

7.1.1 SISTEMA DE EXTRACCIÓN

7.1.1.1 SISTEMAS DE ASPIRACIÓN LOCALIZADA

La extracción de humos y polvos por aspiración localizada es un método de ventilación muy eficaz, puesto que el polvo y humo se recoge en su fuente de emisión, con lo que impide que estos se desperdicien por expansión del aire circundante en la zona de cambios de referencia de la empresa CRISTAR S.A y además que no pueda contaminar su totalidad y así la renovación de aire queda reducida a un mínimo.

Los sistemas de extracción constan de un colector o receptor de contaminante (mezcla aire-polvo) y un conducto por el que se transporta dicha mezcla, el cual puede descargar directamente a la atmósfera o pasar previamente por un equipo purificador. La parte más importante de este sistema es el colector que capta la mezcla aire-polvo.

7.1.1.2 TIPOS DE COLECTORES

Los colectores o campanas pueden ser de varios tipos o clases, los cuales difieren en su posición con respecto a las fuentes de emisión de las impurezas; entre ellas se tienen: las cámaras ventiladas, campanas extractoras y los colectores perfilados.

- **Cámaras ventiladas:** En este sistema de ventilación localizada la mezcla aire-polvo, está confinadas en un espacio cerrado del que son extraídas por un sistema mecánico o por las corrientes naturales.
- **Campanas extractoras:** Son colectores de los sistemas de aspiración localizada que suelen tener forma piramidal o cónica y que se instalan encima o a un lado de la fuente emisora del polvo, su uso es muy común. Las campanas extractoras se pueden clasificar en: campanas suspendidas, campanas laterales y campanas múltiples. Los sistemas de extracción de la mezcla aire-polvo pueden ser naturales o mecánicos, en ambos casos, la campana debe ubicarse tan cerca como sea posible de la fuente emisora.
- **Colectores perfilados.** Se emplean principalmente para atrapar el polvo producido cuando se trabaja con herramientas cortantes o muelas que giren a altas velocidades (2000 r.p.m. o más)

7.1.1.3 DUCTOS DE SUCCIÓN Y DE DESCARGA

Son los dispositivos por medio del cual en su interior circula la mezcla de aire-polvo y aire-humo, los ductos o tuberías utilizadas en sistemas de ventilación son de sección transversal circular, rectangular y a veces en forma de espiral.

Los sistemas de extracción son contruidos generalmente de tubería circular debido a que es más fuerte para un peso dado de material, es menos costoso y minimiza el asentamiento de partículas transportadas por el aire. El material empleado generalmente es lámina galvanizada y lámina de hierro negro; las uniones longitudinales para láminas de hierro son soldadas; las galvanizadas pueden ser costuras soldadas o remachadas, traslapadas en dirección del flujo, o rebordadas las cuales son más recomendables, ubicadas en lugares específicos de tal manera que permitan un fácil desmontaje para el mantenimiento, limpieza, reemplazo de tramos desgastados, soldaduras, etc.

Los ductos se pueden ubicar en la parte alta, al nivel del piso o por debajo del piso; las tuberías colocadas en la parte alta tienen la ventaja de que ahorra espacio y puede atravesar pasillos sin interferir con el tráfico de los trabajadores o vehículos. La tubería a nivel del piso disminuye espacio utilizable, e interfiere con el tráfico, a menos que este diseñado para ser pasada por debajo de equipos o máquinas, pero esta ubicación dificulta las operaciones de mantenimiento, además las tuberías a nivel del piso están sujetas a daños por el tráfico de vehículos y por la posible caída de objetos pesados sobre ellas, la única ventaja es que los ramales son cortos y rectos.

Las tuberías por debajo del piso combinan las ventajas de ambos casos anteriores, pero su desventaja es el alto costo, particularmente cuando se requiere romper pisos sólidos como concreto o acabados, el sistema ofrece flexibilidad para expansión y las máquinas deben ser colocadas en un sitio específico con carácter permanente.

- **Accesorios de los ductos.** Para un buen transporte de cualquier mezcla, en un sistema de extracción o en un sistema de descarga; existen ciertas limitantes en dicho proceso, tal como es el de desviaciones de la mezcla o la subdivisión de esta, para lo cual es necesario contar con la ayuda de diferentes accesorios, como son algunos los codos, las tuberías cónicas, las tees, los soportes entre otros, para así culminar la tarea propuesta.
- **Tuberías cónicas.** Se emplean como accesorios para el cambio de diámetros de tuberías, en entradas de ramales principales.



Figura 4 Tubería cónica

Es recomendable que estos ramales entren por la parte superior o en forma lateral al cono y no por el fondo, cuando el ángulo de expansión del cono es pequeño, no hay diferencias apreciables en el funcionamiento.

- **Codos.** Los codos de dos piezas o secciones no deben utilizarse en sistemas de extracción, las construcciones de codos de cinco piezas son satisfactorio para codos de 6 pulgadas de diámetro o menores y la construcción de siete piezas para codos de diámetro menores. Un modelo simple para un codo de 90° con un diámetro de tubería y un radio de curvatura, se compone de secciones de codos de otros ángulos.



Figura 5 Codos de 90° y 60°

Los codos y curvas deberán tener un mínimo de dos (2) calibres más que las longitudes rectas de igual diámetro y tener un radio desde la línea de centro de al menos 1.5, preferiblemente 2.5 veces el diámetro de la tubería. Los codos prefabricados de construcción suave pueden utilizarse para trabajos pesados.

- **Tees:** Son otros accesorios empleados cuando se requiere una subdivisión de la tubería principal, para el transporte de la mezcla aire-polvo hacia otro lado.



Figura 6 Tees

A medida que se requiera un ángulo más pequeño de unión, las tees se vuelven estructuralmente más débiles, la razón es que se hace difícil remachar o soldar en este punto.

- **Soportes de tuberías:** Las tuberías deben ser sostenidas con abrazaderas metálicas o soportes colgantes. Estos soportes son cables o láminas de hierro negro, los cuales pueden ser rectos, inclinados o curvados, de acuerdo a como lo permita la instalación; se emplean cables de tensión cuando los tramos de tubería entre soportes son largos, para este caso se emplean normas y catálogos si es necesario; la máxima distancia entre soportes debe ser de 12 pies para ductos de 8 pulgadas o ductos más pequeños, 20 pies para ductos más largos.

7.1.1.4 VENTILADORES

Un ventilador es una máquina volumétrica que realiza la función de trasladar un fluido de un lugar a otro, venciendo una determinada presión, es decir los ventiladores hacen dos cosas:

- Suministran la presión estática necesaria.
- Mueven el aire.

En un sistema de extracción localizada el ventilador es el elemento encargado de comunicar al aire la energía necesaria para arrastrarlo hasta el punto de captación y hacerlo circular por los ductos y elementos de separación antes de devolverlo de nuevo a la atmósfera.

Un ventilador crea una presión estática positiva sobre el lado de las aspas que impulsa el aire hacia delante (hacia la descarga) y una presión estática negativa sobre el lado contrario de las aspas que aspira el aire (hacia la succión).

7.1.1.5 TIPOS DE VENTILADORES

Los ventiladores se clasifican en dos grandes grupos básicos, atendiendo a la trayectoria que sigue el fluido al pasar por ellos, estos son: de tipo axial o helicoidal y el de tipo centrífugo.

- **Ventilador Axial.** En este tipo de ventiladores el aire sigue la dirección del eje del rotor, estando alineada la entrada y la salida de la mezcla de aire-polvo. El rotor tiene dos o más álabes o aspas colocados en ángulo hacia el eje; en este tipo de ventiladores el sentido del flujo se invierte al invertir el sentido de giro del rotor.

Los ventiladores axiales son muy usados para aplicaciones de ventilación general o de movimiento de aire, tienen la ventaja sobre los centrífugos de un mayor rendimiento

mecánico, el montaje es más sencillo pero no puede vencer diferencias de presiones muy elevadas, por lo que su uso es limitado a las instalaciones que tengan pocas pérdidas de cargas.

Existen varios tipos de ventiladores axiales, como son: ventilador axial de propela, hélice o aspa y los axiales tubulares.

- **Axial de propela, hélice o aspa.** Este ventilador maneja grandes cantidades de aire contra muy bajas presiones, se emplean con descarga libre, el nivel de ruido es bajo y las eficiencias son aceptables, se instalan en muros o paredes para descarga o extracción del exterior, la transmisión se realiza por correas y poleas o acoples directos al motor. El de aspas genera niveles de ruidos mayores, por esta razón se emplean para trabajos pesados y para aplicaciones de uso industrial.



Figura 7 Ventilador axial de aspas

La potencia requerida por ventilador es la más baja para manejar grandes volúmenes de aire. Su potencia es menor a descarga máxima que a flujo restringido, contrario a lo que ocurre en los ventiladores centrífugos que la potencia máxima se da cuando no se genera flujo.

- **Axiales tubulares.** Estos manejan aire en un rango muy extenso contra presiones medias, presiones hasta 2 pulgadas de columna de agua; son apropiados para conectar a conductos donde hay limitaciones de espacios. Todos los ventiladores axiales descargan el aire con flujo en espiral y producen mayores pérdidas por fricción en ductos que el flujo lineal generado por uno centrífugo.



Figura 8 Ventilador axial tubular

Su aplicación es limitada a usos industriales donde los niveles de ruido no sean tan críticos.

- **Ventilador Centrífugo.** Recibe este nombre por la forma en la cual la energía es comunicada al fluido por el ventilador. El fluido entra en el ventilador a través de una abertura concéntrica con el eje del rotor que gira a gran velocidad.

El rotor está provisto de álabes radiales, el fluido circula entre los álabes hacia el exterior a causa de la fuerza centrífuga y abandona el rotor con una velocidad mayor que a la entrada. La salida del fluido se recoge en una carcasa en espiral denominada voluta y sale del ventilador a través de una conducción tangencial a la voluta.

Toda la energía recibida por el fluido procede del rotor que a su vez la recibe mediante un par (momento) de un eje giratorio arrastrado por un motor; en un ventilador centrífugo las condiciones de entrada y de salida forman un ángulo de 90° , no importa el sentido de giro del rotor. En general el rendimiento mecánico de un ventilador centrífugo no es muy elevado oscila entre el 45 y 75%, debido a que el cambio de dirección del aire provoca pérdidas por choques y remolinos, lo cual manejan cualquier cantidad de aire contra altas presiones.

El diseño de las aletas o aspas, determinan en general la característica de la velocidad de giro, esto es, las aletas hacia delante son apropiadas para bajas velocidades y hacia atrás para altas velocidades; los ventiladores centrífugos se denominan turbosopladores cuando generan altas presiones estáticas (entre 15 pulg. Y 70 pulg. de agua).

De acuerdo a su conexión un ventilador se llama:

- Soplador: son ventiladores que poseen ducto de descarga.
- Elevador o Buster: que poseen ducto de entrada y de salida.
- Extractor: que posee ducto a la salida.



Figura 9 Ventilador centrífugo

La presión generada por un ventilador es función del movimiento o velocidad frontal del aire en la punta de las aletas, el ventilador de aletas curvas hacia atrás consume menos potencia y es menos ruidoso que el de aletas hacia delante; referente a las aspas, existen también rotores con aspas rectas, los cuales se emplean para el transporte de material fibroso y/o abrasivo.

7.2 SISTEMAS DE SEPARACIÓN

7.2.1 METODOS DE SEPARACIÓN

Los equipos extractores de polvo se pueden clasificar en las siguientes formas, de acuerdo con el principio físico en que se basan.

- **Cámaras de sedimentación.** Estos son los aparatos más sencillos entre los empleados para el proceso de separación de las partículas sólidas suspendidas en el aire, son de larga duración, fácil de construir y de manejar, se emplean principalmente para extraer polvo relativamente grueso o para efectuar una extracción previa que deba completarse posteriormente con otras separaciones de polvos.

La forma tradicional de las cámaras de sedimentación es un paralelepípedo alargado. El aire contaminado o la mezcla aire-polvo entra en la cámara en forma de chorro cuya propagación y recirculación depende de la situación del ducto de entrada y de la sección transversal y longitud de la cámara, es decir, se trata de un chorro que se propaga por un recinto cerrado; donde las partículas abandonan la corriente de aire debido a fuerzas gravitacionales. Estos son utilizados con poca frecuencia, debido principalmente al espacio que necesitan o requieren para su instalación, y a que su eficiencia es aceptable solo para partículas de gran tamaño presentes en corrientes de aire con alta concentración de polvo.

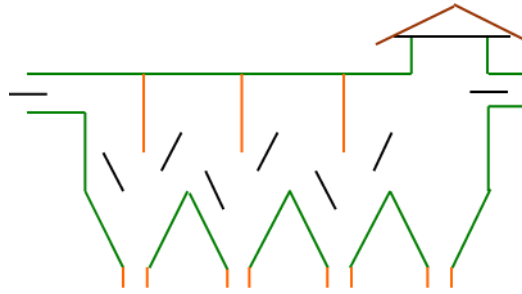


Figura 10 Cámara de sedimentación

Generalmente son más costosos que un ciclón convencional de igual capacidad y su eficiencia de limpieza es inferior a este. Se recomienda solo para sedimentar partículas con diámetros mayores de 50 micras.

- **Ciclones.** Es otro aparato sencillo que sirve para extraer las partículas suspendidas en el aire. Sus principales ventajas son: la compacidad, la sencillez de fabricación, el fácil mantenimiento y la elevada eficiencia.

La mezcla o aire contaminado se alimenta tangencialmente por la parte superior cilíndrica a través de una entrada de sección transversal cuadrada y en ocasiones circular, la corriente sigue una trayectoria en espiral que primero se dirige al fondo del cono y después asciende por el eje de simetría, moviéndose aún en espiral.

El aire más o menos libre de polvo, abandona el ciclón por un tubo situado en la parte superior. Debido a su tendencia a mantener la dirección inicial, las partículas arrastradas por la corriente giratoria de aire, se acerca gradualmente a la pared externa del ciclón.

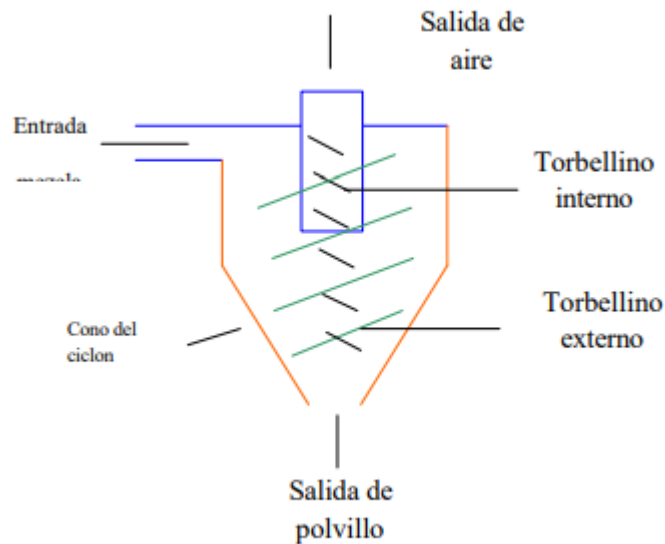


Figura 11 Ciclón

El polvo precipitado descarga por un tubo que sale del fondo del cono. El efecto extractor no depende de la posición del eje del ciclón, el cual puede ser vertical,

horizontal o inclinado. La corriente de mezcla antes de entrar al ciclón es totalmente uniforme y simétrica, luego sufre una transformación. En la primera vuelta las velocidades mayores se encuentran cerca del eje, pero después, sobre todo en un ciclón cilíndrico las velocidades mayores se van acercando gradualmente a las paredes; en los ciclones cónicos estas velocidades se encuentran en la mitad del radio o incluso más cerca del eje del ciclón. En los ciclones cónicos hay dos corrientes helicoidales coaxiales que giran en el mismo sentido, la corriente externa que se dirige hacia abajo y es adyacente a las paredes del ciclón, al llegar al fondo del cono se convierte en la corriente interna ascendente.

Las partículas suspendidas en el aire que entran en el ciclón siguen este movimiento giratorio y a consecuencia del mismo, son transferidas gradualmente hacia las paredes externas y después caen al fondo del cono en parte por la gravedad y en parte por que son arrastradas por la corriente.

La separación del polvo del aire es mejor cuando el diámetro del ciclón es pequeño, la velocidad de entrada es alta y las circunvoluciones del torbellino o vórtice son relativamente altas. La fuerza centrífuga de separación es proporcional al radio de rotación. La resistencia de separación es función de la distancia radial que la partícula de polvo debe atravesar para alcanzar la pared del ciclón, a su velocidad de asentamiento gravitacional en el aire quieto y al tiempo que actúan las fuerzas centrífugas sobre la partícula. El tiempo de exposición a estas fuerzas depende de la velocidad de rotación y del número de circunvoluciones que recorre el polvo entre su entrada y su salida.

En el eje del ciclón, particularmente en la parte inferior del cono, se produce una considerable reducción de presión, la cual en los ciclones cónicos es aproximadamente igual a la presión estática de entrada, a consecuencia de esta disminución de la presión en la parte inferior del cono, resulta imposible descargar directamente el polvo a la atmósfera, pues entraría aire del exterior a través del tubo de descarga arrastrando la mayoría del polvo hacia la salida del aire, anulando totalmente el efecto extractor del ciclón.

Por otro lado, no se puede dejar que el polvo se acumule en el cono, el cual no debe considerarse como una tolva; en este caso el polvo depositado, empezaría también a ser agitado por la corriente giratoria que lo arrastraría hacia la salida de aire limpio.

- **Filtro de tela.** Cuando la mezcla pasa a través de un filtro de tela, las partículas se adhieren al material debido principalmente a las fuerzas inerciales que las depositan sobre los hilos. La capacidad de captación de la tela es mayor cuando más compacto es el tejido. Los tejidos rizados y gruesos, especialmente los de lana, son mucho más efectivos que los tejidos delgados y lisos de algodón; a medida que se va llenando de polvo, la resistencia de los tejidos aumenta más lentamente que la de los tejidos lisos.

La tela forma bolsas sostenidas por armazones de alambre o se colocan tensadas en bastidores. Para obtener una mayor compacidad los bastidores forman celdas en las que las telas se colocan en forma de zigzag. Cuando el filtro se pone en

funcionamiento, la tela limpia se obstruye cada vez más con el polvo, aumentando la resistencia al paso del aire y disminuyendo el caudal tratado.

A medida que la capa de polvo va aumentando su espesor crece la resistencia del filtro hasta que al final la corriente de aire tiende a perforar la tela en los sitios de menor resistencia, lo cual no se debe permitir que la tela alcance este estado, si se sacude la tela llena de polvo, gran parte de este cae, después de ser usada y sacudida varias veces, la resistencia de la tela limpia adquiere un valor constante, este valor depende de la frecuencia de las sacudidas. Los colectores con filtros de tela remueven el material particulado de una corriente de aire contaminado por medio de mecanismos de intersección, impacto y difusión.

El mecanismo de intersección consiste en la detención de las partículas de diámetro superior al de los poros del filtro. Las partículas depositadas en su superficie van obstruyendo totalmente o parcialmente a los poros, por lo cual cada vez se retendrían partículas de menor tamaño.

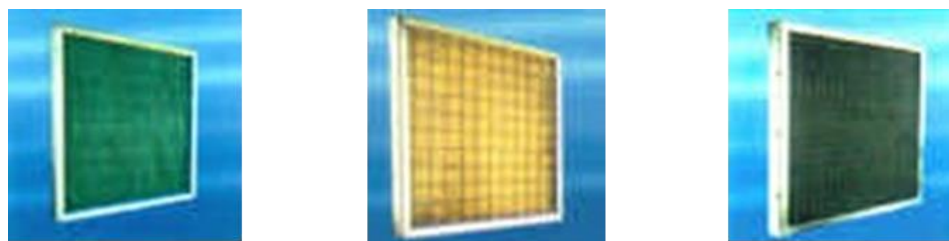


Figura 12 Filtros de tela

Debido a esto en normal que después de un corto tiempo de funcionamiento, el fluido llegue a impedir el paso de partículas de tamaño muy inferior al que inicialmente tenían sus poros. El efecto de impacto de las partículas contra la tela del filtro y su consiguiente retención sucede por los cambios bruscos de dirección dentro del colector, de la corriente de aire que transporta el material particulado.

El efecto de difusión se presenta únicamente en partículas de diámetros menores a una micra; estas partículas se comportan como gases con movimiento browniano capaz de hacerlas incidir sobre las fibras que forman el filtro.

Algunas ventajas que ofrecen los filtros de tela son:

- Excelente eficiencia de colección. Superior al 99% por peso y puede llegar a ser del 99.9% cuando el sistema está bien diseñado, bien operado y con un buen mantenimiento.
- Es aplicable a todo tamaño de partícula, siendo muy usado especialmente para material fino, ya que puede remover partículas de
- 0.5 micras y en ocasiones hasta de 0.01 micras.
- El material se recupera seco y se puede volver a utilizar en el proceso o venderlo como producto.

- La eficiencia de colección no es afectada por cambios en el flujo o la densidad de la corriente de la mezcla.

Algunas desventajas son:

- No puede manejar corrientes de aire húmedas, cuando la condensación sucede sobre la tela. El retiro de material pegajoso o en forma de hilachas es difícil durante la limpieza. Se necesita espacio considerable para manejar volúmenes relativamente grandes.
- Se puede presentar problemas secundarios durante la remoción y el transporte del polvo captado.
- **Separadores inerciales.** Este consiste en muchos troncos de conos de diámetros gradualmente decrecientes y separados por una distancia definida, los conos individuales se mantienen rígidamente en su sitio, gracias a una armadura de lámina de acero colocada lateralmente. La mezcla entra por el extremo ancho y el aire limpio sale por las aberturas anulares que quedan entre cono y cono. Una pequeña cantidad de aire que arrastra el polvo retenido, descarga por el extremo delgado en un colector de polvo; este separador intermedio puede ser un pequeño ciclón cuyo tubo de descarga acostumbra a estar conectado a la boca de aspiración del ventilador.

Debido a la forma cónica del separador el caudal de aire que pasa por estas rendijas anulares es relativamente uniforme, para pasar por estas rendijas, el aire debe cambiar de dirección efectuando un giro de 150° aproximadamente. Las partículas de polvo no son afectadas en forma apreciable por el movimiento turbulento y son llevadas por inercia hacia el orificio de salida, además las partículas que chocan con las paredes inclinadas de los conos adquieren un componente de velocidad que tiende a hacerlas regresar hacia el centro del separador. Estos sistemas se pueden emplear separadamente o en conjunto y pueden instalarse tanto en el lado de aspiración como en el lado de impulsión del ventilador.

Su eficiencia de colección es baja para partículas pequeñas y solo se mejora con tamaños superiores a 20 micras, las cámaras de sedimentación y separadores inerciales no se utilizan normalmente como equipos únicos para controlar la contaminación, sino como prelimpiadores de aire para disminuir la carga de partículas grandes a los colectores de alta eficiencia para partículas pequeñas.

- **Precipitadores electrostáticos.** Son equipos de buena eficiencia para la captación de partículas sólidas y líquidas. Su funcionamiento se basa en un campo eléctrico de alto voltaje creado entre dos electrodos de descarga y de colección de polaridad opuesta, la cual se obtiene por medio de corriente directa.

La mezcla aire-polvo entra al equipo, primero pasa a través de los electrodos de descarga donde las partículas suspendidas reciben una carga, cuando atraviesan el campo ionizado, esta interacción entre el campo y la carga hace que las partículas

sean atraídas, luego por los electrodos de colección que son de polaridad opuesta y se adhieren a ellos. Al ponerse en contacto con las superficies de colección, las partículas pierden su carga eléctrica y pueden ser removidas fácilmente por vibración, por lavado o por gravedad.

Los electrodos de descarga son de área transversal pequeña, generalmente en forma de alambres y los electrodos de colección tienen superficies grandes, en forma de placas.

- **Colectores húmedos:** Estos colectores utilizan un líquido, generalmente agua, para capturar las partículas de polvo o para diluir los gases, vapores y neblinas que son transportadas por el aire.

Las partículas chocan contra el líquido y son retenidas por éste, por esta razón lo más usual es hacer entrar el aire contaminado por la parte inferior del equipo para que suba en contracorriente con el líquido, con el fin de que ocurra el impacto necesario para su colección, cuando se trata de vapores y de gases se condensan al ponerse en contacto con el líquido y sufre una dilución en la corriente que los atrapa.

Algunas ventajas de estos equipos son:

- Facilidad para manejar gases húmedos y también partículas adhesivas sin obstruirse.
 - Eliminación de riesgos de incendios y explosión cuando se maneja materiales inflamables.
 - Consideraciones en primer lugar por costos y por espacio.
 - Disposición del material recogido libre de polvo.
- Desventajas:
 - Necesidad de reciclar el agua, a menos que se pueda usar en el proceso o se lleve a tanques o lagunas de sedimentación, ya que la legislación sobre contaminación del agua prohíbe la descarga directa de los desechos.
 - La corrosión puede ser problema cuando existen gases de combustión.
 - Se aumentan los problemas de mantenimiento para la disposición del material captado.

7.3 DISEÑO DE SISTEMAS DE EXTRACCIÓN DE HUMOS Y POLVO

La función de los ductos en sistema de extracción, separación y recolección de polvo, es dotar de un canal para transportar la mezcla aire-polvo desde la fuente emisora del polvo por medio de la campana, hasta el punto de descarga.

En la selección del ducto se tendrá en cuenta los siguientes aspectos:

- Que el ducto y los accesorios ofrezcan la menor resistencia al flujo de la mezcla, esto es las mínimas pérdidas por fricción.
- El estudio de la zona donde estará en funcionamiento los equipos en general, a fin de diseñar el sistema más conveniente.

- La velocidad de transporte de la mezcla debe ser lo suficiente para evitar la sedimentación acumulación del polvillo en los ductos, pero no excesivamente alta, puesto que pueda ocasionar un rápido deterioro de la tubería por abrasión. (Ventilacion Industrial , 1992)

Según las recomendaciones por la experiencia del Ingeniero Jhon Kennedy García Quintero que desarrolla funciones en el área de Mantenimiento de la empresa Cristar S.A. Para el diseño del sistema de extracción de humos y polvos de cemento y según los requerimientos de espacio y condiciones de operación es ideal trabajar con un valor de caudal de $Q = 500$ cfm.

Dado que se conoce el producto a extraer, el cual es polvo de cemento, de la figura N° 13. (rango de velocidades de diseño), se toma la velocidad recomendada de diseño, la cual tiene un valor de $V_{\text{Diseño}} = 4000$ fpm.

TIPO DE CONTAMINANTE	VELOCIDAD DE TRANSPORTE (FPM)	EJEMPLOS TIPICOS
Vapores y Humos	1000-2000	Vapores de solventes
Neblinas	2000-2500	Soldadura
Polvos finos	2500-3000	Talcos
Polvos Secos	3000-4000	Polvo de algodón
Polvos Industriales	3500-4000	Polvo de granito
Polvos Pesados	4000-4500	Polvo de Sand Blast
Polvos pesados húmedos	4500 y más	Polvo de cemento húmedo

Figura 13 Rango velocidades de diseño (Ventilacion Industrial , 1992)

7.3.1 PÉRDIDAS EN EL SISTEMA

Según las condiciones de espacio para instalar el sistema de extracción, se cuentan con las siguientes dimensiones:

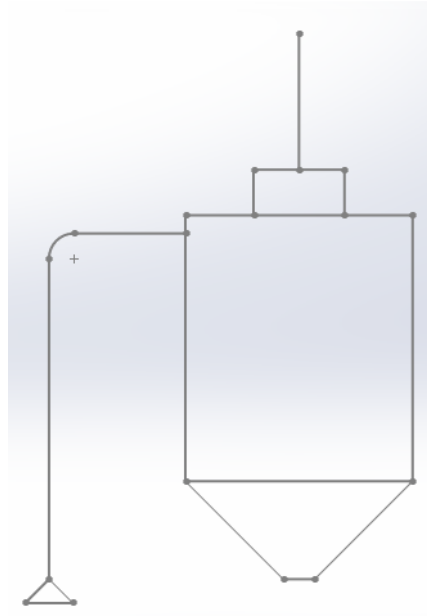


Figura 14 Sistema de extracción de polvos

7.3.1.1 PÉRDIDAS EN LA SUCCIÓN DEL SISTEMA

- **Ecuación de continuidad**

$$Q = V \times A$$

$$A = \frac{Q}{V}$$

$$A = \frac{500cfm.}{4000 fpm.}$$

$$A = 0.125 ft^2$$

- Con el área obtenida se determina el diámetro del ducto

$$D = \sqrt{\frac{A * 4}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{0.125 ft^2 * 4}{\pi}}$$

$$D = 0.4 \text{ ft}$$

- 0,4 ft son equivalentes a 4,8 in, comercialmente se encuentran ductos de 4 y 6 in, para no tener sedimentación en el sistema se seleccionó un ducto de 6 pulgadas(Ducto flexible de aluminio) 10 metros de esta tubería cuesta alrededor de \$154.000 pesos



Figura 15 Tubería de 6 pulgadas comercial

- **Área real del ducto en la succión.**

Teniendo en cuenta el diámetro real de diseño 6 in= 0,5 ft

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi * (0,5 \text{ ft})^2}{4} = 0,19635 \text{ ft}^2$$

- **Velocidad real de diseño.** Conocidos el área real (A) y el caudal (Q), de diseño, se calcula la velocidad real del polvo a extraer.

$$V_r = \frac{Q}{A}$$

$$V_r = \frac{500 \text{ cfm}}{0,19635 \text{ ft}^2}$$

$$V_r = 2547 \text{ fpm}$$

- **Longitud de los ductos (pies).** La longitud de los tramos rectos de tubería es:

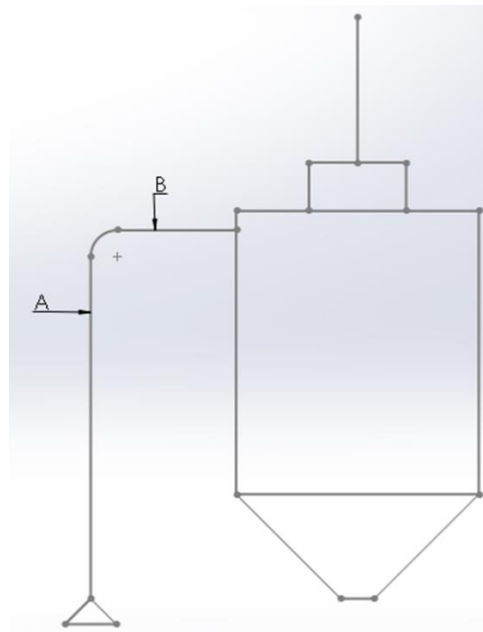


Figura 16 Ducto de succión (AB)

TRAMO A = 2 m = 6,56168 pies. Tubería flexible

TRAMO B = 30 cm = 0,9842 pies. Tubería Rígida

La longitud total de tramos rectos es de 7,55pies. VER FIGURA 16

- **Longitud equivalente de los codos.** El diseño requiere de un codo de 90°
Se determinó la longitud equivalente para un codo de 90° .VER FIGURA 17

LONGITUDES EQUIVALENTES DE ACCESORIOS EN METROS									
Diámetro en mm	Codo de 90° Radio de curvatura R			Ángulo de la unión		H, expresada en diámetros			
	1,5D	2,0D	2,5D	30°	45°	1,0 D	0,75 D	0,5 D	
75	1,4	0,9	0,7	0,5	0,9	0,3	0,5	2,0	
100	2,0	1,3	1,1	0,8	1,3	0,5	0,8	3,4	
125	2,6	1,7	1,4	1,1	1,7	0,6	1,1	4,4	
150	3,2	2,2	1,8	1,4	2,2	0,8	1,4	5,5	
175	3,9	2,6	2,2	1,7	2,6	0,9	1,7	6,6	
200	4,6	3,1	2,5	2,0	3,1	1,1	2,0	7,8	
250	6,0	4,0	3,3	2,6	4,0	1,4	2,6	10	
300	7,4	5,0	4,1	3,2	5,0	1,8	3,2	13	
350	8,9	6,0	5,0	3,8	6,0	2,1	3,8	15	
400	10	7,0	5,8	4,5	7,0	2,5	4,5	18	
450	12	8,1	6,7	5,2	8,1	2,8	5,2	21	
500	14	9,2	7,6	5,9	9,2	3,2	5,9	23	
600	17	11	9,5	7,3	11	4,0	7,3	29	
700	21	14	11	8,8	14	4,8	8,8	35	
800	24	16	13	10	16	5,7	10	41	
900	28	19	15						
1000	32	21	18						
1200	39	26	22						
1400	47	32	26						
1600	55	37	31						
1800	64	43	36						
2000	72	49	40						

* Para codos de 60° — x 0,67
Para codos de 45° — x 0,5

AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

DATOS PARA DISEÑO DE CONDUCTOS

FECHA 1-70 FIGURA 5-20

Figura 17 Longitudes equivalentes de accesorios (Ventilacion Industrial , 1992)

L_{EQ} para codos de $90^\circ = 6$ pies.

- **Longitud equivalente total L_T .** La longitud equivalente total es la suma de las longitudes equivalentes de los tramos rectos y de los codos.

$$L_T = L_{Tra\,rec} + L_{equi}$$

$$L_T = 7.55\,ft + 6\,ft$$

$$L_T = 7.55\,ft + 6\,ft$$

$$L_T = 13.55\,ft$$

- **Diseño del colector o campana**

La principal función de una campana es captar la mezcla generada en un proceso industrial, en este caso es la mezcla aire-polvo de cemento. Las campanas pueden asemejarse a un magneto, es decir, como si tuviera una fuerza de atracción para las moléculas de aire en su entorno, disminuyéndose su capacidad de atracción a medida que las moléculas se alejan de ella.

Para el diseño de una campana lateral se deben tener en cuenta los siguientes criterios:

- Las campanas deben colocarse lo más cercano posible de la fuente emisora de la mezcla.
- La inclinación de los lados de la campana debe ser de 45 grados.
- El área de la sección transversal de la cara de la campana debe ser al menos de 125% del área de la sección transversal de la fuente emisora
- Se puede corregir una campana existente, adicionándole pestañas a lo largo de los bordes internos de la campana, esto reduce el volumen de aire y aumenta la velocidad. (Ventilacion Industrial , 1992)
- Teniendo en cuenta el polvo a extraer y las dimensiones de la fuente emisora se ha determinado un área de la campana de 12pulg x 8pulg a la entrada y a la salida empalma con el diámetro de la tubería, el cual es de 6 pulg

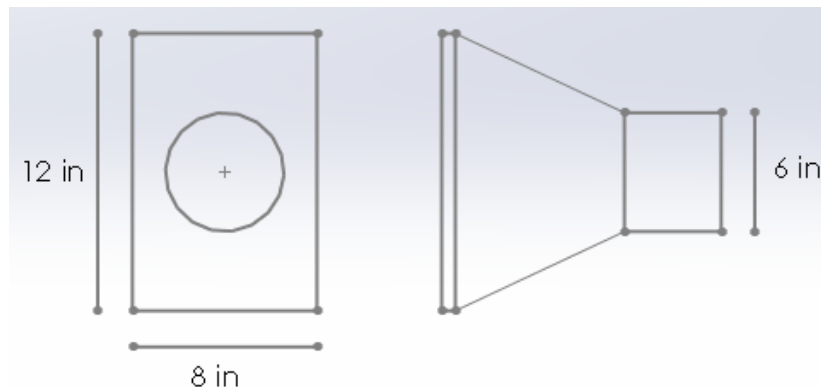


Figura 18 Dimensiones de la campana

NOTA: POR CONDICIONES DE ESPACIO, MANTENIBILIDAD Y CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL VENTILADOR SE INSTALARÁ DESPUES DEL CICLON.

- **Selección de las dimensiones del ciclón.**

Para la selección de las dimensiones del ciclón, se procede a elegirlos de catálogos o de tablas que presentan algunos textos relacionados con el tema; de los cuales se obtienen diámetros recomendados y sus relaciones con las demás dimensiones, además del caudal al cual trabaja cada uno de ellos.

Las dimensiones de un ciclón son relativas y afectan la eficiencia del proceso de separación del polvillo del aire, para el dimensionamiento de un ciclón se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- El diámetro del cuerpo del ciclón.
- La velocidad de entrada de la mezcla.
- La longitud del cuerpo del ciclón.
- El diámetro del ducto de salida. (Ventilacion Industrial , 1992).
- Medidas recomendadas para la selección de un ciclón.

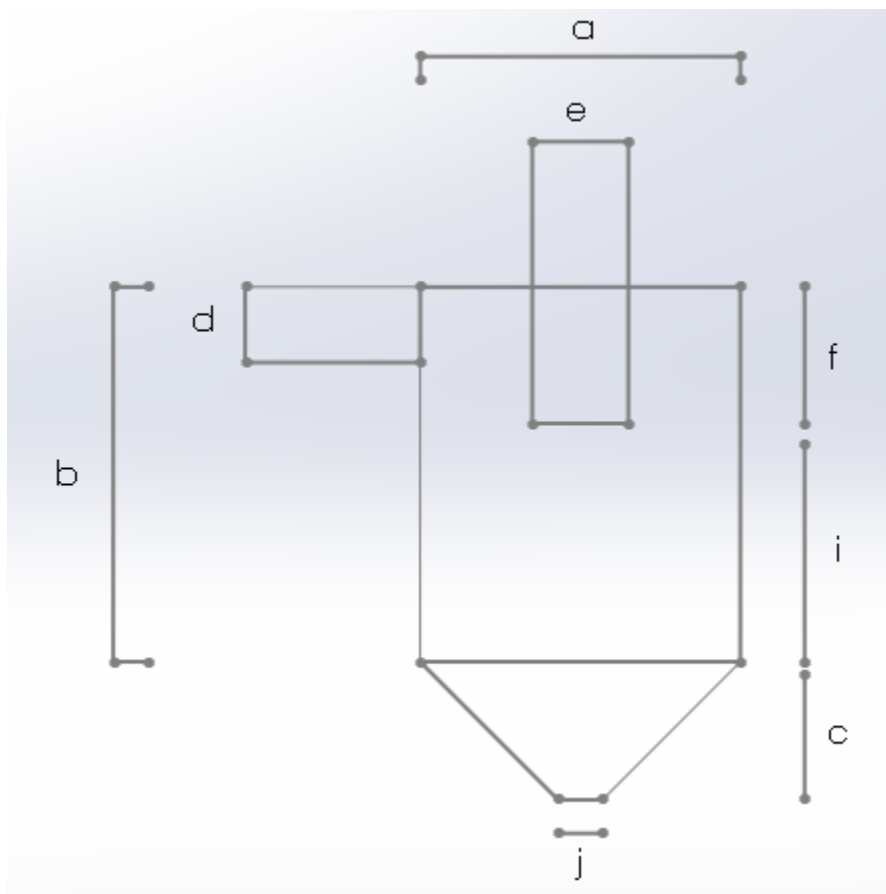


Figura 19 Dimensiones del ciclón

1. Diámetro nominal interno de la tubería y se conecta a un ventilador auxiliar.
2. Ajustable
3. Opcional, puede reducirse si se conecta a un ventilador auxiliar

Caudal (cfm)	DIMENSIONES (PULGADAS)									
	a	b	c	d (1)	e	f	g	h	i(2)	J(3)
500	37	15	33	5	10	12	8	7	8	3
1000	44	21	40	7	14	16	11	10	11	5
2000	54	30	49	10	20	19	15	14	15	6
3000	63	36	57	12	25	22	18	18	19	7
5000	75	48	68	16	32	28	24	22	24	10
7500	87	60	78	20	39	34	30	27	30	10

10000	97	68	87	23	45	38	34	32	34	12
12500	105	75	95	25	50	42	38	35	38	12
15000	114	82	103	27	55	45	41	38	42	12
20000	127	94	114	32	63	51	47	44	48	13
25000	139	105	125	35	70	57	63	49	54	13
30000	151	116	136	39	77	62	58	54	59	14
35000	163	126	147	42	84	67	63	59	64	14
40000	173	135	156	45	90	72	68	63	69	15

**Figura 20 Dimensiones recomendadas para el ciclón
(Ventilacion Industrial , 1992)**

➤ **Pérdidas totales en el sistema:**

$$h_{fTOTALES} = h_{fcampana} + h_{fLtotal} + h_{fTciclon}$$

➤ **Presión dinámica en (in H₂O):**

De la ecuación:

$$V = 4005 \sqrt{PV} \text{ (Ventilacion Industrial , 1992)}$$

Despejamos la presión dinámica

$$PD = \left(\frac{V}{4005} \right)^2$$

$$PD = \left(\frac{2547 \text{ fpm}}{4005} \right)^2$$

$$PD = 0,40 \text{ in H}_2\text{O}$$

➤ **Pérdidas en la campana (in H₂O) :**

Este valor se obtiene sumando el factor de aceleración ($f_a = 1.0$, factor conservador) y las pérdidas por fricción (h_f) a la entrada de la campana; las pérdidas por fricción dependen de la configuración, posición de la campana y el ángulo de sus caras. (Ventilacion

Industrial , 1992)

$$h_{cam} = (fa + h_f) \times PD$$

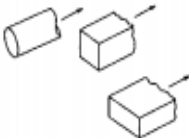
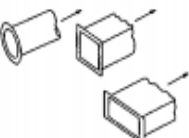
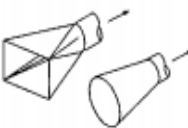
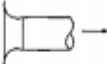
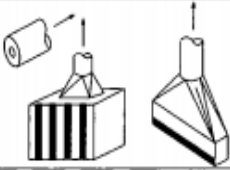

TIPO DE CAMPANA	DESCRIPCIÓN	FACTOR DE PÉRDIDAS EN LA ENTRADA A LA CAMPANA (F_c)
	ABERTURA SENCILLA	0,93
	ABERTURA SENCILLA CON PISTAÑA	0,49
	CAMPANA EN CONO O CON ADAPTADOR	VER FIGURA 5-15
	ENTRADA CAMPANA REDONDEADA	0,04
	ORIFICIO (RENDIJAS)	VER FIGURA 5-15
	CAMPANA TÍPICA PARA DESBARBADO	(SALIDA RECTA)
		0,65
		(SALIDA CON ADAPTACIÓN)
		0,40
AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS		FACTOR DE PÉRDIDAS EN CAMPANAS
FECHA 7-89		FIGURA 3-15

Figura 21 Factor de perdidas en campanas (Ventilacion Industrial , 1992)

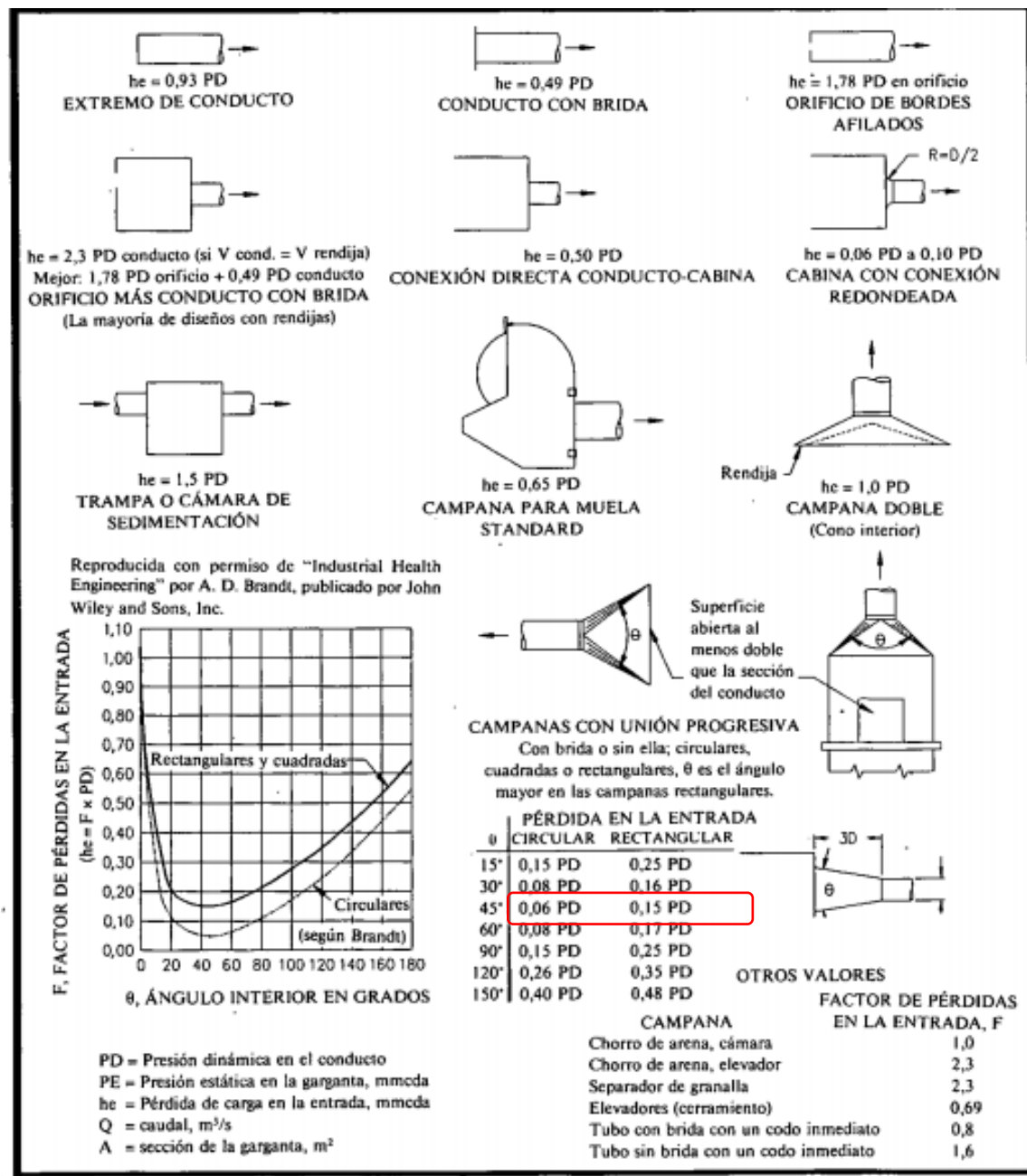


Figura 22 Perdidas por fricción en la entrada de la campana

$$h_{fcam} = (fa + h_f) \times PD$$

$$h_{fcam} = (1 + 0,15) \times PD$$

$$h_{fcam} = (1,15) \times PD$$

$$h_{fcam} = (1,15) \times 0,40 \text{ in } H_2O$$

$$h_{fcampana} = 0,46 \text{ in } H_2O$$

➤ **Pérdidas por fricción (in H₂O) por cada 100 pies en la tubería:**

Dichas perdidas se calcularon mediante la ecuación:

$$\frac{hf}{100} = 2,74 * \frac{\frac{v(fpm)^{1,9}}{1000}}{(D(in))^{1,22}} \quad (\text{Ventilacion Industrial , 1992})$$

$$\frac{hf}{100} = 2,74 * \frac{\frac{2547 \text{ fpm}^{1,9}}{1000}}{(6 \text{ in})^{1,22}}$$

$$\frac{hf}{100} = 1,81 \text{ in } H_2O$$

➤ **Perdidas en la longitud total de la tubería**

$$h_{fLTotal} = \frac{hf}{100} * \frac{Lt}{100}$$

$$h_{fLTotal} = (1,81 \text{ in } H_2O) \times \frac{14 \text{ ft}}{100}$$

$$h_{fLTotal} = 0,2534 \text{ in } H_2O$$

➤ **Pérdidas por fricción en el ciclón:**

Se calcularon las perdidas en el ciclón luego de seleccionar las dimensiones recomendadas, mediante la ecuación:

$$h_f = \frac{K \times A}{D^2}$$

Donde $k = 16$ para entradas tangenciales y D_c es el diámetro del cilindro interno del ciclón (ducto de salida de aire limpio).

El área es $A = 0.19635 \text{ ft}^2$ con un diámetro de $D = 6$ pulgadas, entonces:

$$h_{fc} = \frac{16 \times 0.19635 \text{ ft}^2}{\left(\frac{10}{12}\right)^2}$$

$$h_{fc} = 4,52 \text{ in H}_2\text{O}$$

$$h_{fciclon} = h_{fc} \times PD$$

$$h_{fciclon} = 4,5 \text{ in H}_2\text{O} \times 0,40 \text{ in H}_2\text{O}$$

$$h_{fciclon} = 1,8 \text{ in H}_2\text{O}$$

Nota: Se deben tener en cuenta las perdidas en el cilindro interno del ciclón

- **Pérdidas en el cilindro interno del ciclón (ducto de salida de aire limpio).** Como este es otro tramo de tubería recta, sus pérdidas son su longitud equivalente, conociendo el diámetro y la longitud de este ducto seleccionado en la figura N 23.

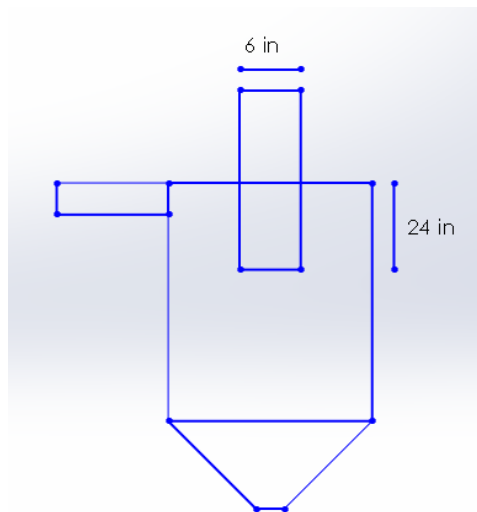


Figura 23 Longitud del cilindro interno

L = 24 pulgadas (Longitud tubería de salida del aire del ciclón) = 2 pies.

$$\frac{h_f}{100} = 2,74 * \frac{\frac{2547 \text{ fpm}^{1,9}}{1000}}{(6 \text{ in})^{1,22}}$$

$$h_{fci} = 1,8 \text{ in H}_2\text{O} * \frac{2 \text{ pies}}{100}$$

$$h_{fci} = 1,8 \text{ in H}_2\text{O} * \frac{2 \text{ pies}}{100}$$

$$h_{fci} = 0,036 \text{ inH}_2\text{O}$$

➤ **Pérdidas totales en el ciclón:**

$$h_{ftc} = h_{fci} + hc$$

$$h_{ftc} = 0,036 \text{ inH}_2\text{O} + 1,8 \text{ in H}_2\text{O}$$

$$h_{ftciclon} = \mathbf{1,836 \text{ in H}_2\text{O}}$$

- **Presión estática PE (in H₂O).** Este valor se calcula sumando todas las pérdidas en la succión, por lo tanto:

$$P_{esta} = h_{fcamp} + h_{fLtotal} + h_{ftciclon}$$

$$P_e = 0,46 \text{ in H}_2\text{O} + 0,2534 \text{ in H}_2\text{O} + 1,836 \text{ in H}_2\text{O}$$

$$P_e = \mathbf{2,55 \text{ in H}_2\text{O}}$$

Esta es la presión estática en la entrada del ventilador.

7.3.1.2 PÉRDIDAS POR FRICCIÓN EN LA DESCARGA DEL SISTEMA

La descarga del sistema cuenta con un codo radio largo 90 ° C y 10 pies de tubería recta, con un diámetro de 6 pulgadas y un área de 0.19635 pies²

Se conserva el mismo caudal y velocidad de diseño de la succión del sistema. Ver figura 16.

Caudal ($Q = 500$ cfm).

La velocidad de diseño ($V = 2547$ fpm.).

El diseño requiere de un codo de 90°, el cual tiene una longitud equivalente de 6 pies (Ver figura 17)

- **Longitud equivalente total L_T .** La longitud equivalente total es la suma de las longitudes equivalentes de los tramos rectos y de los codos.

$$L_T = L_{EQ \text{ codos}} + L_{\text{Tramos rectos}}$$

$$L_T = 6 \text{ pies} + 10 \text{ pies} = 16 \text{ pies.}$$

$$L_T = 16 \text{ pies.}$$

- **Perdidas por fricción (in H₂O) por cada 100 pies.**

Dichas pérdidas se calcularon mediante la ecuación

$$\frac{hf}{100} = 2,74 * \frac{\frac{v(fpm)^{1,9}}{1000}}{(D(in))^{1,22}}$$

$$\frac{hf}{100} = 2,74 * \frac{\frac{2547 \text{ fpm}^{1,9}}{1000}}{(6 \text{ in})^{1,22}}$$

$$\frac{hf}{100} = 1,81 \text{ in H}_2\text{O}$$

- **Perdidas en la longitud total de la descarga en in H₂O.** Para el cálculo de este valor se realiza por medio de la ecuación:

$$h_{fTdescarga} = \frac{hf}{100} * \frac{Lt}{100}$$

$$h_{fTdescarga} = (1,81) \times \frac{16}{100}$$

$$h_{fTdescarga} = 0,2896 \text{ in H}_2\text{O}$$

- **Pérdida en el difusor.** Se calculó mediante la ecuación:

$$h_{fdifu} = fp \times PD$$

$$fp = 1, \text{ para ser conservativos}$$

$$h_{fdi} = 1 \times 0,40 \text{ in H}_2\text{O}$$

$$h_{fdi} = 1 \times 0,40 \text{ in H}_2\text{O}$$

$$h_{fdi} = 0,40 \text{ in H}_2\text{O}$$

- **Pérdidas totales en la descarga**

$$h_{fTdescarga} = 0,2896 \text{ in H}_2\text{O} + 0,40 \text{ in H}_2\text{O}$$

$$h_{fTdescarga} = 0,6896 \text{ in H}_2\text{O}$$

- **Presión estática (PE) en la descarga del sistema.** Se calculó realizando la sumatoria de todas las pérdidas en la descarga.

$$PE_{Descar=h_{tdescar}} - PD$$

$$PE_{Descar=h_{tdescar}} - PD$$

$$PE_{Descar} = 0,6896 \text{ in H}_2\text{O} - 0,40 \text{ in H}_2\text{O}$$

$$PE_{Descar} = 0,2896 \text{ in H}_2\text{O}$$

Se procede a seleccionar el ventilador con la presión estática en la succión y descarga del sistema.

7.3.2 SELECCIÓN DEL VENTILADOR

Para realizar la selección del ventilador se debe calcular la presión estática en la entrada y salida del sistema, se debe conocer la ubicación geográfica y la presión dinámica.

$$P_{esta\ ven} = P_{est\ de} - P_{es\ suc} - P_d$$

$$P_{esta\ ven} = 0,2896\ in\ H_2O - (-2,55\ in\ H_2O) - 0,40\ in\ H_2O$$

$$P_{es\ vent} = 2,4396\ in\ H_2O$$

El sistema de extracción de polvos estará ubicado a 969 metros sobre el nivel del mar y estará operando en un ambiente que se encuentra a 100°

Kg/m³ = Factor de densidad × 1,2
Densidad del aire seco a 21 °C al nivel del mar = 1,2 Kg/m³
Altitud sobre el nivel del mar en metros

	-250	0	250	500	750	1000	1250	1500	1750	2000	2500	3000
Temp. E Hg	782	760	738	717	697	677	657	639	620	603	569	536
C. E H ₂ O	10649	10345	10048	9761	9482	9211	8947	8691	8443	8201	7739	7303
0	1,11	1,08	1,05	1,02	0,99	0,96	0,93	0,91	0,88	0,86	0,81	0,76
21	1,03	1,00	0,97	0,95	0,92	0,89	0,87	0,84	0,82	0,79	0,75	0,71
50	0,94	0,91	0,89	0,86	0,84	0,81	0,79	0,77	0,75	0,72	0,68	0,64
75	0,87	0,85	0,82	0,80	0,78	0,75	0,73	0,71	0,69	0,67	0,63	0,60
100	0,81	0,79	0,77	0,75	0,72	0,70	0,68	0,66	0,65	0,63	0,59	0,56
125	0,76	0,74	0,72	0,70	0,68	0,66	0,64	0,62	0,60	0,59	0,55	0,52
150	0,72	0,70	0,68	0,66	0,64	0,62	0,60	0,59	0,57	0,55	0,52	0,49
175	0,68	0,66	0,64	0,62	0,60	0,59	0,57	0,55	0,54	0,52	0,49	0,46
200	0,64	0,62	0,61	0,59	0,57	0,56	0,54	0,52	0,51	0,49	0,47	0,44
225	0,61	0,59	0,58	0,56	0,54	0,53	0,51	0,50	0,48	0,47	0,44	0,42
250	0,58	0,56	0,55	0,53	0,52	0,50	0,49	0,47	0,46	0,45	0,42	0,40
275	0,55	0,54	0,52	0,51	0,49	0,48	0,47	0,45	0,44	0,43	0,40	0,39
300	0,53	0,51	0,50	0,49	0,47	0,46	0,45	0,43	0,42	0,41	0,38	0,36
325	0,51	0,49	0,48	0,47	0,45	0,44	0,43	0,41	0,40	0,39	0,37	0,35
350	0,49	0,47	0,46	0,45	0,43	0,42	0,41	0,40	0,39	0,38	0,35	0,33
375	0,47	0,46	0,44	0,43	0,42	0,41	0,39	0,38	0,37	0,36	0,34	0,32
400	0,45	0,44	0,43	0,41	0,40	0,39	0,38	0,37	0,36	0,35	0,33	0,31
425	0,43	0,42	0,41	0,40	0,39	0,38	0,37	0,35	0,34	0,33	0,32	0,30
450	0,42	0,41	0,40	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31	0,29
475	0,41	0,39	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31	0,29	0,28
500	0,39	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31	0,30	0,28	0,27
525	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31	0,30	0,29	0,27	0,26

Las pérdidas de carga son proporcionales a la densidad (en primera aproximación)
Consultar las leyes de los ventiladores, o las referencias, para más detalles

Figura 24 Factor de corrección para la densidad del aire

Se tiene un factor de corrección para la densidad del aire de 0,70, Por lo tanto:

$$P_{Eventilador} = 2,4396 \text{ in } H_2O \times \frac{1,2}{0,7 \times 1,2}$$

$$P_{Eventilador} = 3,5 \text{ in } H_2O$$

El ventilador adecuado para manejar polvo debe ser centrífugo de aletas radiales, por ser de autolimpieza; para su selección se requiere el flujo Q y la presión estática PE del ventilador, los cuales son:

El flujo o caudal Q es de 500 cfm.

La presión estática del ventilador es de

$$P_{Eventilador} = 3,5 \text{ in } H_2O$$

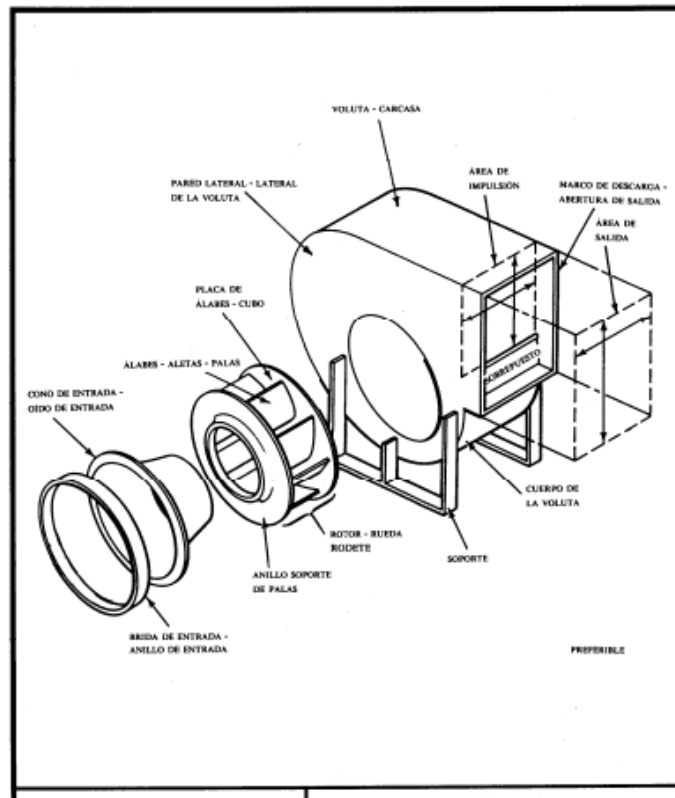


Figura 25 Ventilador centrífugo

Ahora se procede a seleccionar el ventilador con los datos anteriores en un catálogo (ver Figura N 25).

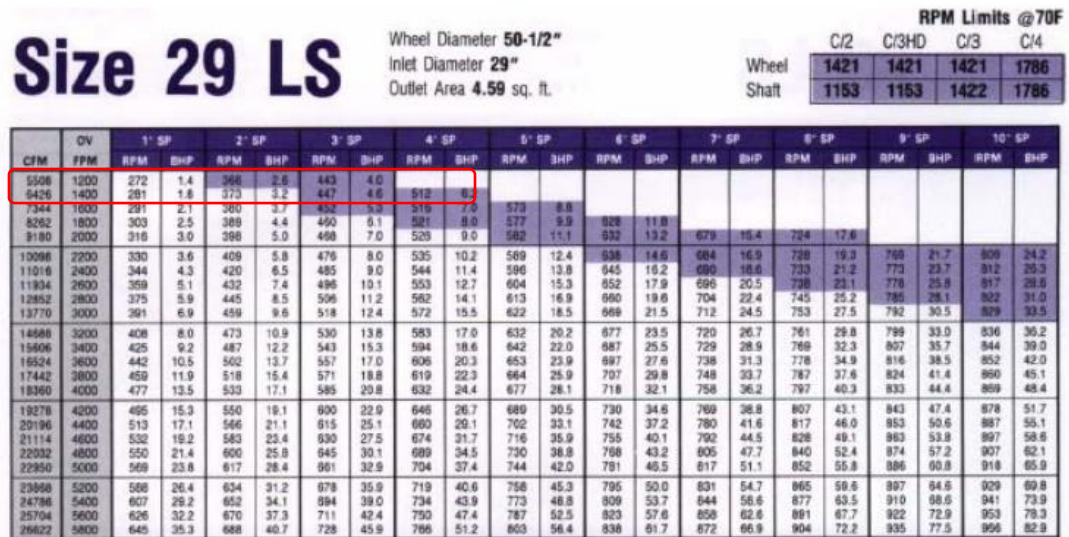


Figura 26 Selección del ventilador

Se toma el ventilador más aproximado el cual posee las siguientes características:

$$\omega = 443 \text{ rpm}$$

$$Pot = 4 \text{ BHP}$$

Una vez seleccionado el ventilador, se debe seleccionar el sistema motriz, simular la operación del sistema, realizar el montaje más adecuado en cuanto a costos y espacio y medir con el fin de corroborar los resultados esperados.

8. RECOMENDACIONES

- Realizar simulación y proyección de costos para el montaje del sistema de extracción con la finalidad de obtener los resultados esperados en cuanto a la disminución de contaminación y cuidado de la salud de los trabajadores.
- Realizar cotizaciones alternativas en cuanto a los materiales requeridos para la implementación de los sistemas de extracción en la empresa CRISTAR S.A.S y evaluar su viabilidad.
- En el proyecto es de vital importancia seguir los lineamientos prácticos que recomiendan los trabajos de investigación en el diseño de sistemas de extracción de polvos ya estructurados en la industria.

9. CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos para la potencia y velocidad angular del ventilador son acordes a las proyecciones esperadas por el Ingeniero Jhon Kennedy García Quintero.

- Con la implementación de los sistemas de extracción para humos y polvos la empresa CRISTAR S.A.S podrá disminuir el riesgo de enfermedades de los trabajadores y por ende disminuir los costos de pólizas de seguros. Adicional a esto podrá garantizar el cumplimiento de las normas en cuanto al medio ambiente y seguridad y salud en el trabajo.
- Para el campo de acción del programa académico Ingeniería Mecánica, la empresa CRISTAR S.A.S, permitió la aplicación de los conocimientos adquiridos en el proceso de formación, tales como: diseño térmico, mecánico, hidráulico, neumático, entre otros, lo que permitió obtener resultados positivos para proyecciones esperadas por la industria.

10. BIBLIOGRAFÍA

- ALEJANDRO, I. I. (2017). *REPOSITORIO UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA*. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/3087/MCgralii.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- CARM. (s.f.). Obtenido de <https://www.carm.es/web/integra.servlets.Blob>
- CRISTAR. (s.f.). Obtenido de <https://www.cristar.com.co/>
- DEFINICIÓN ABC. (s.f.). Obtenido de <https://www.definicionabc.com/politica/osha.php>
- ECOLOGIAHOY. (03 de ENERO de 2019). Obtenido de https://www.ecologiahoy.com/vidrio#iquestQueacute_es_el_vidrio
- MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. (01 de NOVIEMBRE de 2017). Obtenido de <http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/96-res%202254%20de%202017.pdf>
- MONTAÑA, C. A. (2016). *FUNDAMENTOS DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL*.
- NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. (23 de SEPTIEMBRE de 2015). Obtenido de https://informacion.unad.edu.co/images/control_interno/NTC_ISO_14001_2015.pdf
- SIGNIFICADOS. (s.f.). Obtenido de <https://www.significados.com/medio-ambiente/>
- SURA, C. -A. (s.f.). *SURA*. Obtenido de https://www.arlsura.com/index.php?option=com_content&view=article&id=2461
- TECHNOMETRICA. (s.f.). Obtenido de <https://www.tecnometrica.com.mx/Detector-de-gas.html>
- Ventilacion Industrial*. (1992). Valencia, España.

